

CENTRO DEPORTIVO PARQUE DEL MANZANARES EN MADRID

CAJA MÁGICA

Hugo CORRES PEIRETTI

Dr. Ing. Caminos, C. y P.

FHECOR Ingenieros Consultores
Presidente

hcp@fhecor.es

Javier TORRICO LIZ

Ing. Caminos, C. y P.

FHECOR Ingenieros Consultores
Jefe Departamento Obra Civil

jatl@fhecor.es

Resumen

El Centro Deportivo del Parque del Manzanares de Madrid constituye un recinto deportivo de 17 Ha dedicado principalmente al tenis, en el cual destaca la estructura de los tres estadios denominada Caja Mágica. Consta de dos edificios: el del Estadio 1 y el de los Estadios 2 y 3, separados por una junta de dilatación con continuidad a cortante mediante conectadores de tipo Goujon. El Estadio 1 tiene en planta una forma rectangular, con unas dimensiones de 159,90 x 102,30 m sin juntas de dilatación y los Estadios 2 y 3 con 159,90 x 65,55 m. Las diferentes plantas (hasta 4 alturas) se articulan en una malla ortogonal con una cuadrícula principal de 14,40 x 14,40 m entre pilares. La solución estructural de los forjados es de losa maciza postesada, en una o dos direcciones, de luces principales de 14,40 m, con un canto de 40 cm (relación canto/luz de 1/36), sobre pilares de 1,50x1,50 m en el contorno, y de 1,50x1,50 m ó 0,40x1,50 m en el interior, además de en muros de hormigón en las dos direcciones principales de los edificios.

Palabras Clave: Losa sin juntas. Losa postesada. Pórtico postesado.

1. Introducción

El Centro Deportivo del Parque del Manzanares de Madrid constituye un recinto deportivo de 17 Ha dedicado principalmente al tenis, pero que, al mismo tiempo, es un entorno de ámbito multifuncional con posibilidad de celebrar eventos, conciertos y ferias.

Alberga tres estadios independientes con cubiertas abatibles (la denominada Caja Mágica, con capacidad para 12000, 3500 y 2500 personas respectivamente), 16 pistas de tenis de entrenamiento al aire libre (Tenis Garden) y el edificio del Tenis Indoor, que incluye otras 11 pistas cubiertas además de las oficinas de la futura sede de la Federación Española de Tenis.

El proyecto de Construcción fue realizado en 2005 para Madrid Infraestructuras Deportivas 2012 (actualmente Madrid Espacios y Congresos) por Dominique Perrault Architecture, junto con LKS en la Gestión del Proyecto y TYPESA en las Estructuras, Instalaciones y Urbanización.



Fig. 1 Fotomontaje de la obra final

La construcción de la obra se dividió en dos contratos independientes, uno para las cubiertas móviles y otro para el resto de los edificios, siendo la adjudicataria en ambos casos la empresa FCC Construcción.

La intervención de FHECOR Ingenieros Consultores, por encargo de FCC Construcción, ha consistido en la realización del Proyecto Modificado de la Estructura de hormigón de la Caja Mágica, optimizaciones en diversos elementos estructurales del edificio de Tenis Indoor y Asistencia Técnica a la Construcción de todos los edificios.

2. Descripción de la estructura de hormigón de proyecto

La Caja Mágica consta de dos edificios: el del Estadio 1 y el de los Estadios 2 y 3, separados por una junta de dilatación en la que la estructura de los estadios 2 y 3 se apoya mediante neoprenos en una ménsula corrida que sobresale de la viga de borde del estadio 1, la continuidad del pavimento se realiza con una junta elástica de neopreno.

El Estadio 1 tiene en planta una forma rectangular, con unas dimensiones de 159,90 x 102,30 m y los Estadios 2 y 3 159,90 x 65,55 m.

Las diferentes plantas se articulan en una malla ortogonal con una cuadrícula principal de 14,40 x 14,40 m entre pilares.

La cimentación de todos los muros y pilares es profunda, con encepados de 2 ó 4 pilotes en el caso de los pilares, los pilotes tienen diámetros de 0,40; 0,80; 1,20 y 1,50 m. Su longitud oscila entre 4 y 21 m.

El edificio en altura consta de cuatro niveles.

El primer nivel se sitúa sobre el terreno a la cota 563,20 y comprende el área total del edificio excepto la proyección vertical de la pista de tenis. Este nivel se resuelve mediante una solera continua de hormigón armado apoyada sobre el terreno de 20 cm de espesor excepto en las zonas con tráfico de vehículos pesados que tiene 30 cm.

El segundo nivel se sitúa a la cota 567,20. Su superficie está retranqueada en el Estadio 1, respecto al nivel inferior, una crujía de 14,40 m en todo el perímetro. En este nivel se sitúa la pista de tenis, directamente sobre el terreno. El forjado se apoya en su contorno en los pilares de hormigón situados cada 7,20 m, con dimensiones de 1,50x1,50 m ó 0,40x1,50 m, y en muros de hormigón en las dos direcciones principales del edificio. El apoyo del forjado en los pilares se realiza a través de apoyos de neopreno. La solución estructural es de pórticos de hormigón formados por vigas postesadas de 0,95 m de canto y ancho variable entre 0,60 y 1,50 m, con luces de 14,40 ó 7,20 m, que unen los pilares y forjado de losa alveolar de 20+5 cm de canto trabajando en la dirección perpendicular a los pórticos, en algunas zonas se sustituye el forjado alveolar por losa maciza armada de 0,20; 0,25 ó 0,30 m de espesor, según las cargas previstas en cada zona, siendo el canto total de la estructura de 1,20. En el perímetro de todos los huecos se disponen vigas o zunchos de borde de 0,95 m de canto.

En los Estadios 2 y 3 la estructura se limita a tres pequeñas zonas de 12,45 m de ancho y longitudes de 24,30; 48,20 y 24,20 m. La estructura planteada son pórticos de un vano en la dirección corta apoyados en muros y/o pilares formados por vigas postesadas de 0,95 m de canto y forjado alveolar de 25+5 cm de canto y/o losas armadas de 0,20 ó 0,25 m de canto.

El tercer nivel se sitúa a la cota 571,20, su superficie comprende el área total del edificio excepto la proyección vertical de la pista de tenis. El forjado se apoya en su contorno en pilares de hormigón situados cada 14,40 m, mediante apoyos de neopreno zunchado, sus dimensiones son de 1,50 x 1,50 m. En la siguiente alineación, concéntrica a la anterior a 14,40 m de distancia, se apoya en pilares también sobre neoprenos, situados cada 7,20 m, con dimensiones de 1,50x1,50 m ó 0,40x1,50 m, y en la siguiente alineación en muros de hormigón que rodean la pista de tenis. La solución estructural planteada consiste en pórticos en las dos direcciones formando cuadrículas de 14,40 m de lado, las vigas son postesadas con continuidad, los vanos son de 14,40 m de luz y su sección transversal de 1,50 m de ancho y 0,95 m de canto, excepto las vigas de borde que tienen 1,50 m de canto. Entre estas vigas principales en la mayoría de los vanos aparecen vigas secundarias de 0,60 ó 0,70 m de ancho y 0,95 m de canto. El forjado es alveolar de 25+5 cm de canto y/o losas armadas de 0,20 ó 0,30 m de canto.

El cuarto nivel está formado por los graderíos y los pasillos perimetrales de éstos ubicados a la cota 583,45 (Sky-Lounge), únicamente en el Estadio 1, a diferencia de los niveles inferiores presenta 8 juntas de dilatación. El forjado está resuelto mediante vigas prefabricadas pretensas de 1,10 m de canto y prelosas de hormigón prefabricado nervadas de 5 cm de canto (15 cm en los nervios) y losa de compresión hasta alcanzar un canto total de 20 cm.

Las gradas son elementos prefabricados en forma de L que se apoyan en pórticos o muros situados cada 14,40 m. La misión de los pórticos de graderíos es recibir las cargas de los graderíos y transmitir las a los pilares, directamente en el estadio 1, mientras que en los estadios 2 y 3 a través de la losa de cota 571,20. La configuración global de los pórticos está formada por pórticos tipo 1.1, paralelos y equidistantes, dispuestos en perpendicular a las pistas. Las esquinas se

resuelven mediante un pórtico tipo 1.2 postesado, situado en la bisectriz del ángulo que forman los pórticos finales de cada alineación. El dintel o costilla principal tiene una inclinación de 30° aproximadamente, con proyección en planta de 27,6 m, y queda sustentada en el extremo inferior y en una pareja de soportes (patas) que, arrancando del mismo punto, se abren con ángulos de 60° con la horizontal para recibir la pieza superior.

3. Modificaciones introducidas en el proyecto modificado

El objetivo de FHECOR al hacerse cargo del Proyecto Modificado consistió en racionalizar la estructura, eliminando elementos difíciles de construir o mantener en el futuro, a la vez que se proponían optimizaciones en los procedimientos constructivos y empleo de medios auxiliares, todo ello con un ahorro en el presupuesto de ejecución material de la obra.

Las principales modificaciones introducidas en la estructura de la Caja Mágica son las siguientes:

- Se eliminan todas las juntas de dilatación, a excepción de la que separa en el nivel 571,20 el Estadio 1 de los Estadios 2 y 3, dicha junta se mantiene pero se simplifica su ejecución al pasar de una ménsula corrida con neoprenos y junta de neopreno a una junta con continuidad a cortante mediante conectadores de tipo Goujon. Esta junta no necesita ningún mantenimiento ni operaciones futuras de inspección ni de sustitución, con la complejidad que ello significaría en un edificio de estas características. Igualmente se modifican con la misma tipología las juntas previstas entre el edificio y las dos pasarelas de acceso.



Fig. 2 Junta entre estadio 1 y estadios 2 y 3



Fig. 3 Junta entre estadio 1 y pasarela

- La cimentación de todos los muros y pilares pasa a ser directa mediante zapatas, para llegar a la cota de terreno competente se realiza una sobreexcavación que se rellena con hormigón pobre o se aumenta la altura del pilar. Representa una clara ventaja en cuanto a tiempo de ejecución y economía, independiza además la estructura del Estadio 1 de la del resto del edificio, que antes compartían encepados de pilares comunes.
- En el segundo nivel (cota 567,20) se eliminan todos los apoyos de neopreno y se empotran los pilares en el forjado. Se modifica la tipología estructural del forjado, pasando a ser una losa maciza postesada en una o dos direcciones en función de la geometría de la planta, las luces principales son de 14,4 m, adoptándose un canto de 40 cm (relación canto/luz de 1/36). Esta tipología permite minimizar los cantos y da una solución estructural, constructiva y económicamente muy interesante, además permite simplificar la ejecución, ya que todo el forjado presenta la misma tipología y tiene el mismo canto (no hay vigas descolgadas, excepto en la alineación exterior por requerimientos arquitectónicos) y se ejecuta a la vez por zonas, con secuencias de trabajo de dos semanas por fase que incluyen: 1) movimiento del encofrado; 2) ferrallado, colocación de vainas y enfilado de cordones de pretensado; 3) hormigonado; 4) tesado del pretensado.

La losa presenta claramente diferentes zonas de flexión unidireccional. Por ello se ha establecido un pretensado en una única dirección cambiante según las condiciones estructurales. Como la losa apoya interiormente en muros, no tiene sentido concebir un pretensado centrado en bandas de pilares y se ha dispuesto un pretensado uniforme. Este pretensado se ha situado fuera de los pilares para que las cabezas de anclaje del pretensado no interfieran con la armadura de los pilares, facilitando la ejecución.

Una vez escogida la solución pretensada, se plantea la disyuntiva entre el sistema de pretensado no adherente o pretensado adherente con vaina oval, lo que exige efectuar un estudio comparativo de ambas soluciones. El primer sistema tiene la ventaja de no requerir inyección posterior al tesado, con las facilidades de ejecución que esto supone; sin embargo, con este sistema, en Estado Límite Último sólo se puede disponer de la tensión media de pretensado en servicio más un cierto incremento, compatible con la deformación global entre anclajes. Esto puede llevar a un incremento de la armadura activa requerida, especialmente en el caso de cargas elevadas, como ocurre con el edificio en cuestión.

En el sistema de pretensado con tendones adherentes con vaina oval se hace necesaria la inyección posterior a la operación de tesado; pero, en contrapartida, se puede disponer de una mayor capacidad resistente de la armadura activa con la consiguiente disminución de cuantías respecto del sistema anterior. El uso de la vaina oval permite obtener un brazo mecánico muy similar al que resulta con cordones no adherentes. La vaina oval presenta una gran flexibilidad y, por consiguiente, permite con facilidad abordar cualquier tipo de trazado, el enfilado resulta una operación sencilla y fácil de realizar y la inyección resulta, asimismo, muy rápida. Efectuado el estudio, se consideró como óptima la tipología estructural formada por losas macizas postesadas con tendones adherentes con vaina oval.

Se ha optado por vainas planas de 4 cordones de 150 mm² cada uno tesados al 75% de la carga de rotura (1425 MPa). Como los cables no presentan longitudes importantes se ha optado por un único anclaje activo en cada cable con la excepción de las 2 familias de mayor longitud donde es recomendable realizar un tesado por ambos extremos.

- En el tercer nivel (cota 571,20), al igual que en la planta inferior, también se han eliminado todos los apoyos de neopreno sobre los que se apoya la losa y se ha optado por una solución estructural de losa maciza postesada en dos direcciones, siendo las luces principales son de 14,4 m, adoptándose un canto de 40 cm (relación canto/luz de 1/36). Con la esbeltez resultante y las elevadas cargas actuantes se plantea el aumento del canto alrededor de los pilares con el fin de aumentar la capacidad resistente frente a punzonamiento. El canto de estos ábacos es de 0,65 m, es decir, se produce un descuelgue de 25 cm bajo la losa. Las dimensiones de estos ábacos en planta son de 4,80x4,80 m, los ábacos no representan un problema de ejecución ya que al tener todos las mismas dimensiones en planta y el mismo canto permiten realizar el encofrado por bandas de dos alturas, la experiencia resultante en obra constató que el ritmo de producción fue similar al de la planta inferior.



Fig. 4 Vista de los ábacos terminados



Fig. 5 Ferrallado de los ábacos

Las grandes dimensiones de la losa han llevado al diseño de un proceso constructivo por fases. Se ha dividido la losa en 24 fases de hormigonado diferentes, disponiéndose las juntas de hormigonado de tal manera que las diferentes superficies resultaran aproximadamente iguales.

El proceso constructivo consiste en tesar e inyectar los cables de cada una de las fases de manera sucesiva, una vez que el hormigón haya alcanzado una resistencia característica mínima de 25 MPa. De esta forma se puede descimbrar cada una de las fases una vez inyectadas las vainas y desplazar la cimbra hacia la siguiente fase.

En el Estado 1 la losa se comporta de manera diferente en función de las condiciones de sustentación en las distintas zonas; consecuentemente el diseño del pretensado se ha ajustado a estas condiciones. En las crujeas situadas en los bordes del forjado se da un notable funcionamiento unidireccional, dado que los pilares se sitúan a 14,40 m del borde y en cambio dichos pilares se encuentran separados entre ellos 7,20 m, de modo que salvo en la zona comprendida entre las alineaciones H – P y 10 – 14, se ha dispuesto un pretensado unidireccional, concentrado en bandas de pilares, pues es donde mayor concentración de esfuerzos hay. En la zona restante, debido a que en ambas direcciones los pilares se encuentran a 14,40 m. ha sido necesario disponer un pretensado bidireccional.

En aquellos casos en los que las deformaciones en centro de vano resultan elevadas se han dispuesto familias adicionales de pretensado entre bandas de pilares.

Se ha optado por vainas planas de 4 cordones de 150 mm² cada uno tesados al 75% de la carga de rotura (1425 MPa). Dependiendo de la longitud de los cables, se ha dispuesto uno o dos anclajes activos.



Fig. 6 Armado de losa nivel 571.20



Fig. 7 Detalle acopladores de pretensado

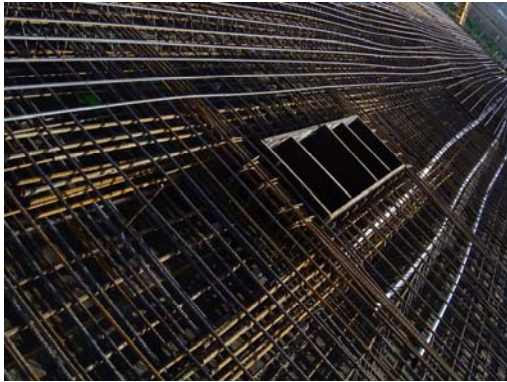


Fig. 8 Pretensado en zona de losa con huecos

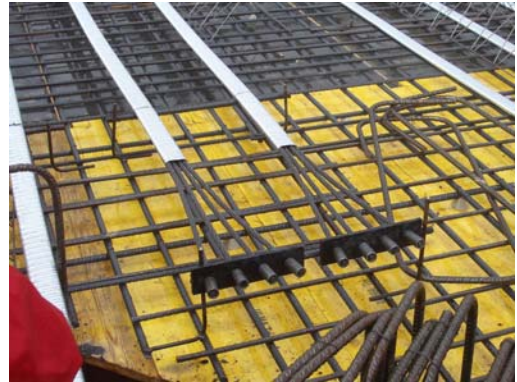


Fig. 9 Detalle anclaje pasivo



Fig. 10 Detalle arranque de pórticos antes de hormigonar



Fig. 11 Detalle arranque de pórticos tras el hormigonado

La solución estructural planteada ofrece además otras ventajas como la facilidad de montaje de las instalaciones al presentar un techo plano en toda la superficie y la mayor versatilidad que presenta la losa maciza frente a los forjados alveolares para la ubicación de huecos de cualquier dimensión.



Fig. 12 Huevo para instalaciones ejecutado a posteriori



Fig. 13 Detalle arranque de pilares de cubierta



Fig. 14 El techo plano sin vigas descolgadas facilita el montaje de instalaciones



Fig. 15 Versatilidad de la losa ante la apertura de huecos en su borde apoyado en un muro

Las plantas de pretensado se muestran a continuación:

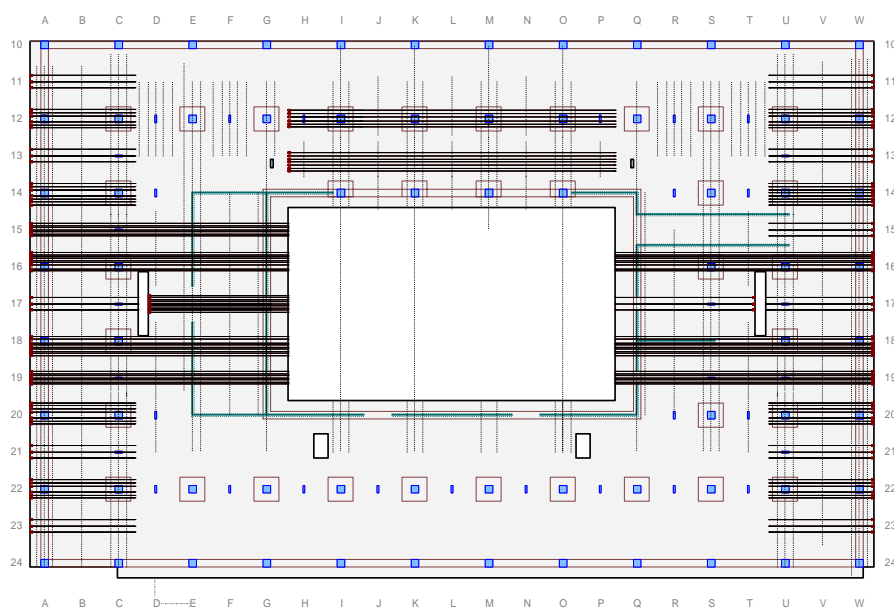


Fig. 16 Planta pretensado dirección X – Estadio 1



Fig. 17 Planta pretensado dirección Y – Estadio 1

En los estadios 2 y 3 la losa se comporta de manera diferente en función de las condiciones de sustentación en las distintas zonas; consecuentemente el diseño del pretensado se ha ajustado a estas condiciones. La preponderancia de recuadros de luces iguales en dirección X e Y, junto con la sencillez de ejecución, han llevado a disponer un trazado bidireccional, concentrado sobre las bandas de pilares.

En aquellos casos en los que las deformaciones en centro de vano resultan elevadas, coincidiendo con la existencia de muros o pórticos de los graderíos, se han dispuesto familias adicionales de pretensado entre bandas de pilares.

Se ha optado por vainas planas de 4 cordones de 150 mm² cada uno tesados al 75% de la carga de rotura (1425 MPa). En los cables dispuestos en un único recuadro, su longitud es tan corta que no hay beneficio alguno en tesarlos desde los dos extremos, por tanto en estos cables se ha dispuesto un único anclaje activo. Asimismo, debido a las fases de ejecución de la losa, se disponen acopladores con extremos activos o pasivos en función del proceso constructivo.

En cuanto a los cables más largos en la dirección Y, el retesado supone una apreciable reducción de las pérdidas del tendón y resulta por tanto interesante, para lo cual será necesario dejar una zona sin hormigonar en el extremo próximo a la junta con la losa del estadio 1 hasta el tesado de los mismos.

Las plantas de pretensado se muestran a continuación:

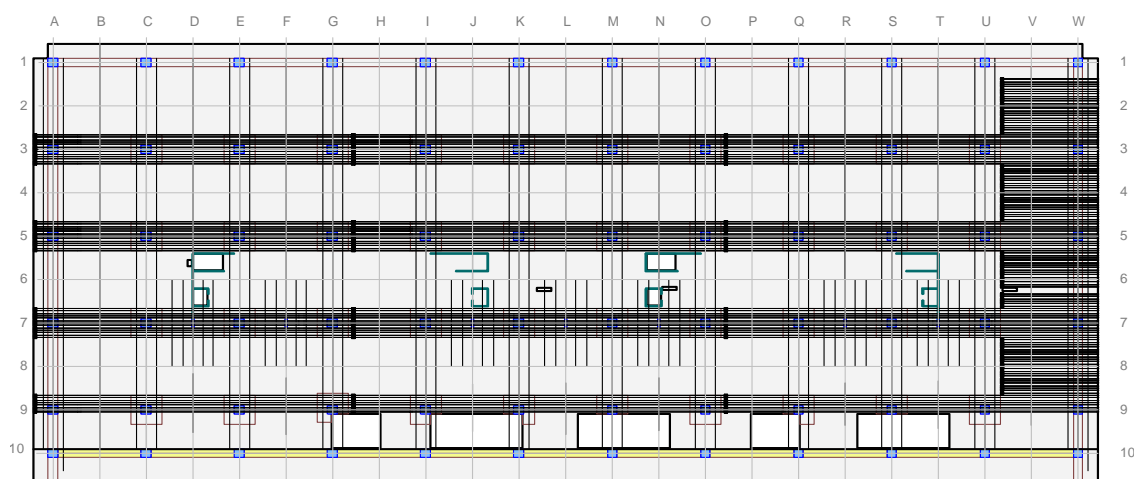


Fig. 18 Planta pretensado dirección X – Estadios 2 y 3

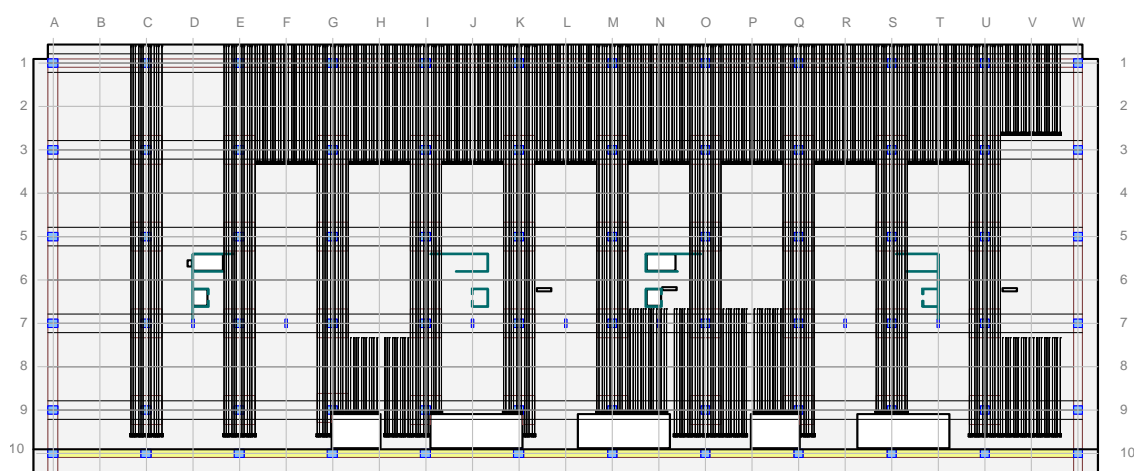


Fig. 19 Planta pretensado dirección Y – Estadios 2 y 3

- En el cuarto nivel o Sky-Lounge (cota 583,45), el forjado se ha resuelto mediante una losa maciza postesada en una dirección en función de la geometría de la planta, las luces son de 14,4 m, adoptándose un canto de 0,30 m (relación canto/luz de 1/48). Esta losa se apoya en su contorno en los pórticos de hormigón que sustentan las gradas del estadio 1, situados cada 14,40 m. En el borde interior de este forjado apoyan cada 14,40 m y justo en el

centro de cada vano dos vigas prefabricadas sobre las que apoyan las gradas, puesto que la luz de las gradas es de 7,20 m. Esto hace que se descuelgue una viga de 0,60 m de ancho y 0,70 m de descuelgo bajo el forjado.



Fig. 20 Vista del Sky-Lounge desde el nivel 571.20



Fig. 21 Armado del Sky-Lounge, se aprecia la armadura superior del pórtico y la dimensión del voladizo

Las grandes dimensiones de la losa han llevado al diseño de un proceso constructivo por fases. Se ha dividido la losa en 10 fases de hormigonado diferentes, disponiéndose de juntas de hormigonado, eliminándose las juntas de dilatación presentes en el proyecto inicial. El proceso constructivo consistirá en tesar e inyectar los cables de cada una de las fases de manera sucesiva, una vez el hormigón haya alcanzado una resistencia de 25 MPa. De esta forma se puede descimbrar cada una de las fases una vez inyectadas las vainas y desplazar la cimbra.

Los pórticos se han optimizado adaptándolos a las cargas que les transmiten las gradas y el nuevo Sky-Lounge. Se ejecutaron por fases, inicialmente se dejaron las esperas embebidas en la losa del nivel 571,20, posteriormente se hormigonó el nudo de arranque junto con una pata y la mitad de la viga de apoyo de las gradas con un único encofrado vibrante, finalmente se ejecutaba con un nuevo encofrado el resto de la viga de apoyo de las gradas, el voladizo de soporte del Sky-Lounge y la otra pata.



Fig. 22 Arranque de las dos patas de un pórtico tipo

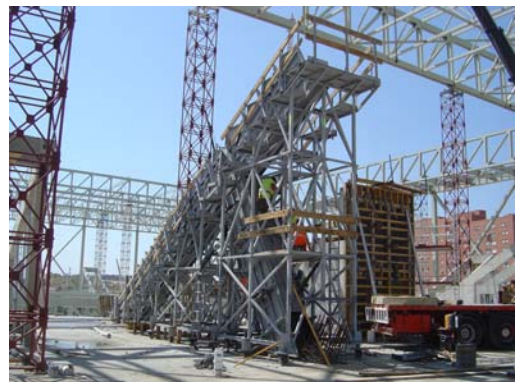


Fig. 23 Encofrado de primera fase de pórtico tipo



Fig. 24 Ferralla de primera fase de pórtico tipo



Fig. 25 Pórtico tipo terminado y ejecución de la losa del Sky-Lounge

Para minimizar el canto de la losa del Sky-Lounge el tramo horizontal del pórtico se hormigonó en dos fases, en la primera fase se dispone una armadura en la cara superior capaz de soportar el peso propio del voladizo del pórtico y se hormigona hasta ese nivel, quedando por encima las armaduras necesarias en servicio, que se hormigonaban junto con el Sky-Lounge (ver figura 21). Sin duda la concepción del procedimiento constructivo de los pórticos y su ejecución fue el elemento más complejo de la obra y con menor rendimiento en su ejecución, especialmente los pórticos de esquina, cuyo arranque se macla con los de dos pórticos tipo perpendiculares y del que nacen a media altura otros dos pórticos paralelos a los tipo.



Fig. 26 Arranque de pórtico de esquina y dos pórticos tipo



Fig. 27 Encuentro en pórtico de esquina



Fig. 28 Vista de pórtico de esquina con dos pórticos ortogonales



Fig. 29 Interior del Estadio 2



Fig. 30 Interior del Estadio 1 donde se aprecian los pórticos terminados

4. Evolución de las obras

La estructura de hormigón se ha realizado en 27 meses, la excavación de las cimentaciones se inició en Junio de 2006 y se ha completado en Agosto de 2008, simultaneando su construcción con el montaje de las fachadas y la cubierta, así como las instalaciones. El edificio se inauguró en Octubre de 2008.

A continuación se muestran fotografías de conjunto que revelan el avance de la obra:



Fig. 31 Julio de 2006



Fig. 32 Septiembre de 2006



Fig. 33 Diciembre de 2006



Fig. 34 Marzo de 2007



Fig. 35 Junio de 2007



Fig. 36 Septiembre de 2007



Fig. 37 Diciembre de 2007



Fig. 38 Marzo de 2008

5. Equipo interviniente

Además de las personas firmantes, han tenido una participación especial en el desarrollo del proyecto Javier Milián Mateos, Miguel García Rojo, Javier de Cabo Ripoll, Alberto Reig Pérez y Javier Antón Díaz, entre otros.